

# 学 位 論 文 の 要 旨

## 論文題目

バイオフィトンイメージングによる疲労とストレスの評価に関する研究

坪内 伸司

## 研究の目的

人口減少社会を迎えた我が国において、労働力不足への対応としての「働き方改革」の背景には、長時間労働の是正、多様な働き方の実現があり、働く人々のメンタルヘルスをいかにして維持向上させるかが重要視されている。グローバル社会、情報化社会へと人間の生活環境が多様に変化していく現代社会においては、生活における強い不安や悩みなどのストレスから「心身」のバランスが崩れ、慢性的な疲労疾患、心身症など精神のおよび社会的な生活機能が低下し、さまざまな健康疾患を引き起こすことが問題となっている。ストレスに伴う心身の不調は、小学生から高齢者に至る多くの年齢階層で報告されており、これらへの対応が喫緊の課題として指摘されている。

ストレスに起因する心身の疾患を予防するためには、生体をホールボディとしてとらえ客観的に生体情報を把握することが重要視されている。これまでに生体のストレス状態を把握する方法はいくつか報告されているが、大きく主観的評価と客観的評価の2つに分けることができる。主観的評価としては、心理面に着目した質問紙を用いた方法がある。一方、客観的評価には血液や尿、唾液中の成分を分析する生化学的手法や生体信号を使った生理学的手法がある。生体信号を使った評価には、人間の自律神経の活動度をあらわす心拍変動指標や呼吸活動、発汗による皮膚電気活動などを用いた手法があり、種々の調査研究で活用されている。いずれの評価方法も、実用性に優れ多くの研究成果が報告されている<sup>1)</sup>。

近年、生体のストレスを客観的、かつ簡易にバイオフィトン（生命活動に伴い放出される光子エネルギー：bio photon）としてとらえる方法として、GDV（Gas Discharge Visualization：気体放電撮影機）による測定法が開発されている<sup>2)</sup>。岡部ら<sup>3)</sup>によれば、ストレスがさまざまな過程を経て活性酸素種の増加をもたらし、細胞レベルでその状態が続くと、ストレス応答遺伝子の発現によって適応が進み、ストレス状態からの脱却とともに活性酸素種の生成と消去のバランスも回復し、消去されずに残存する活性酸素種の量も減少すると報告している。しかしながら、適応できないほど強いストレス下では、各種生理機能の不全が酸化機構の障害へと発展し、その結果大量の活性酸素種が発生する。このような活性酸素種は生体分子と反応し、特に細胞膜の不飽和脂肪酸で酸化の連鎖を発生させ、その比較的大きな反応エネルギーは近赤外から可視・紫外の波長の光、バイオフィトンとして放出される。量子生物学や量子情報科学の進歩により、光子によるエネルギー要素（物理経路）については、生命の新しい理解をもたらす可能性が含まれると指摘されているが、この微弱な光と生体の相互作用を生体光情報としてとらえ、その意味についての解明が期待される場所である。その一方で、日本においてはバイオフィトンイメージングによる生体反応の研究は緒についたばかりであり研究報告は数少ない。

本研究では、人々にとってより望ましい生活環境、社会環境の創出を目的として、生体に発生する疲労やストレスの程度をバイオフィトンイメージングにより明らかにし、新たな視点から健康管理、健康支援や身体環境適応能の評価について検討した。

## 「研究1：バイオフィトンからみた生体内エネルギーの日内変動」

### 【目的】

生体情報の物理学的指標のバイオフィトン、生理学指標の唾液中の分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率、心電図、酸素摂取量、消費カロリーを指標として、生体内のエネルギー変動に日内変動が及ぼす影響について検討した。

### 【方法】

研究参加者は、医学的に健康と評価される成人男性25名とした。調査検討項目は、物理学的指標として

バイオフィトン、生理学的指標として唾液中の分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率、心電図、酸素摂取量、消費カロリーを選択した。各種検査は、1日7回（9時・11時・13時・15時・17時・19時・21時）行った。バイオフィトンは GDV によりエネルギーフィールドおよびサイエンティフィックラボラトリーソフトを用いて生体エネルギー量を示す Area と Intensity を分析した。疲労を示す分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、Enzyme-Linked Immunosorbent Assay により分析した。消費エネルギーの算出は、運動負荷検査から得られた  $\text{VO}_2\text{-HR}$  関係式と活動中の心拍数により総酸素摂取量を算出したのち、総消費エネルギー量を算出した。

#### 【結果】

研究参加者の身体活動レベルは、独立行政法人 国立健康・栄養研究所による日本人のふつう（Ⅱ）であることが明らかとなった。バイオフィトンのエネルギーフィールド指標の Area、Intensity は、同一個体において、生理的指標と時間経過とともに増減を示し三峰性の変動を示した。分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、同様に三峰性を示しながら変動していることが明らかになった。覚醒後の初期値に対して、12時間経過後の平均値では、エネルギーフィールド指標の Area は、9時と比較して21時に有意な減少（ $p<0.05$ ）が認められた。エネルギーフィールド指標の Intensity は、9時と比較して21時に有意な減少（ $p<0.05$ ）が認められた。分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、9時と比較して21時に有意な減少（ $p<0.05$ ）が認められた。バイオフィトンパラメータのエネルギー指標について Area と分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率との間には有意な（ $p<0.05$ ）相関関係が認められた。また、バイオフィトンパラメータのエネルギー指標 Intensity について、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率との間には有意な（ $p<0.05$ ）相関関係が認められたことよりエネルギーフィールド指標の Area、Intensity は、覚醒時日内変動の数値に疲労やストレスが反映されていることが認められた。

#### 【考察】

検証において指標とした分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、日内変動を示すことが明らかとなり、他の生理学的指標とも有意な相関を示すことが示唆された。一方バイオフィトンイメージングと人体の疲労レベルにも一定の日内変動が認められた。Area および Intensity との間には有意な相関関係が認められた。覚醒時におけるエネルギーフィールド指標の Area および Intensity の数値は、疲労度を反映していることが明らかとなった。

#### 【結論】

バイオフィトンイメージングによる生体内エネルギーの計測は、労働環境の変化により働く人たちが抱える問題に対するケア、心の健康増進と維持、メンタルヘルス不調の予防対策として、新たな視点からの健康状態の評価法として期待される。

### 「研究2：バイオフィトンからみる運動時の生体内エネルギーに関する研究」

#### 【目的】

生体情報のバイオフィトンを指標として、運動負荷を与えることにより生体内のエネルギー変動がバイオフィトンに及ぼす影響について検討した。

#### 【方法】

健康な成人男性25名を研究参加者とし、運動負荷によるエネルギー変動を検証した。調査検討項目として、バイオフィトン、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率、POMS(Profile of Mood States)を選択した。運動負荷はトレッドミルによる70 %HRmax レベルのランニングを1時間行い、運動負荷の前後で各種調査項目値を比較検討した。バイオフィトンは GDV によりエネルギーフィールドおよびサイエンティフィックラボラトリーソフトを用いて Area と Intensity を分析した。分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、Enzyme-Linked Immunosorbent Assay により分析した。運動負荷による心理的な変動は、POMS(Profile of Mood States)検査により評価した。

#### 【結果】

研究参加者全員の平均70 %HRmax 運動負荷時の心拍数は、平均 $157.8 \pm 16.5$  beats/min であった。エネルギーフィールド指標の Area と Intensity の平均値は、運動負荷前と比較して有意な減少（ $p<0.01$ ）が認められた。分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、運動負荷前と比較して有意な減少（ $p<0.01$ ）が認められた。POMSにおいて、運動負荷前と比較して怒り因子は有意な（ $p<0.01$ ）減少を示し、疲労因子は有意な（ $p<0.05$ ）増加を示した。Area および Intensity と分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率との間にそれぞれ有意な（ $p<0.05$ ）相関関係が認められた。

### 【考察】

運動負荷による Area と Intensity の数値は、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率、POMS 検査と同様の結果が得られたことより疲労やストレスが反映されていることが明らかとなった。また、エネルギーフィールド指標の Area、Intensity は、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率との間に有意な相関関係が認められたことから、運動による人体の疲労レベルを反映していることが明らかとなった。

GDV は、非侵襲的で短時間の測定であり、生体の状態を把握するうえで、容易に多量のデータを蓄積できるという特徴を持っているといえる。従って、バイオフィトンイメージングによる各個人の継続的測定法による変動を一つの指標として加えることで多様化、個別化する健康度分析の新たな指標になりうると考えられる。

### 【結論】

身体の様子をよい状態に整えるコンディショニングの生体情報として、バイオフィトンイメージングによる生体内エネルギーの計測は、「健康づくり」のための運動処方作成に重要なものであると期待される。

### 「研究 3：バイオフィトンからみた長期低強度運動処方が体力におよぼす影響に関する研究」

#### 【目的】

健康長寿を実現するためには、栄養、体力、社会の 3 要因が重要になることが知られている。本研究においては、生きている環境に適応する能力 Physical fitness (体力) に注目し、中高齢者に対して低強度の運動処方を 12 か月間継続的に実施し、生体情報の物理学的指標のバイオフィトンと従来からの生理学的指標を評価して、運動処方による生体内のエネルギー変動に及ぼす影響について検討した。

#### 【方法】

研究参加者は、40～55 歳の健康な中年男性 30 名とした。日常生活の中で処方に従って運動する Training group (T 群) と、積極的な運動を行わない Non training group (NT 群) の 2 群 (各 15 名) に分けた。T 群に対する運動処方は、日常生活において週 3 回の頻度で 1 日 30 分間、屋外での歩走行とした。生理学的指標として、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率を選択し、Enzyme-Linked Immunosorbent Assay により分析した。また、Daily total energy consumption、Weight、%Fat、BMI、 $VO_2/kg/min$ 、 $O_2pulse$ 、 $O_2removal$  および Systolic blood pressure も計測した。物理学的指標としてバイオフィトンを選択し、GDV を用いエネルギーフィールドおよびサイエンティフィックラボラトリーソフトにより Area と Intensity を分析した。消費エネルギーの算出は、運動負荷検査から得られた  $VO_2-HR$  関係式と 24 時間の心拍数により総酸素摂取量を算出し、総消費エネルギー量を算出した。

#### 【結果】

1 日の消費エネルギー量は、経時的に増加し 3 か月間で有意な ( $p<0.05$ ) 増加が認められた。Weight、%Fat および BMI は、初期値に比べ 6 か月間経過時で有意な ( $p<0.05$ ) 減少が認められた。また、運動負荷直後の Systolic blood pressure は有意な ( $p<0.05$ ) 低下が認められた。 $VO_2/kg/min$ 、 $O_2pulse$  および  $O_2removal$  については、運動処方開始 9 か月間経過時より有意な ( $p<0.05$ ) 増加が認められた。Area および Intensity は、Daily total energy consumption、 $VO_2/kg/min$ 、 $O_2pulse$  および  $O_2removal$  の測定結果と有意な ( $p<0.05$ ) 相関が認められた。

#### 【考察】

Area および Intensity は、Daily total energy consumption、 $VO_2/kg/min$ 、 $O_2pulse$  および  $O_2removal$  の測定結果と有意な ( $p<0.05$ ) 相関が認められた。この背景には、生体の電子反応が関与すると考えられる。生体の電子反応とは、表皮や真皮内の複合タンパク質の分子内に非局在化した「励起電子」を意味する。物質においてもこの励起電子が増えることはエネルギー状態が高くなったことを意味する。 $VO_2/kg/min$ 、 $O_2pulse$  および  $O_2removal$  は、生体の循環機系機能が活性化したことを示す項目で、Area と Intensity との有意な相関は励起電子の増加に依ることが作用機序として推定される。Daily total energy consumption においても発光量を示す Area と Intensity の有意な相関関係が認められ、このことは励起状態にある電子に関係すると考えられる。この励起状態にある電子は、生体内エネルギーの基とされる ATP や活性酸素と深い関係性があるとされている。すなわち、消費エネルギーの有意な増加は、励起状態にある電子の増加と活性酸素の減少が背景にあることが推測される。

#### 【結論】

運動処方による Physical fitness への効果において、バイオフィトンイメージングによる生体内エネルギーの計測は、健康保持増進、Quality of Life 実現のため、自らセルフコンディショニングを行うため

の重要な生体情報として期待される。

#### 【総合考察および結論】

人間の健康状態を評価する指標として用いられてきたのは、生理学的分野の指標が多く、評価方法としては器官や機能の単独的な数値による評価が使われてきた。本研究では、新たに生体内のエネルギー産生に直接的に関連すると考えられている体内の励起化電子の自由化による生体からの発光現象を捉えることに着目した。人間の健康や Physical fitness という視点では、単一の臓器の機能や筋肉のパワーだけではなく、ホールボディとしてとらえる評価方法が大切であると考えた。その結果、従来から取り上げられている心理学的・生理学的各指標に加えて、バイオフィトンイメージングによる物理学的指標として着目した。このバイオフィトンイメージングによる検出数値が、人間の疲労やストレスといった健康状態や Physical fitness に反映するのかについて検討した。個内変動や運動負荷による反応および長期間の運動処方における効果について、生理学的指標との関連を含めて検討を行った。

Physical fitness という視点は、人間が生きている環境に対する適応性という考え方が含まれており、本来の理念としては、生体が生きていく環境に対して適応力を高めることが基本となっている。この理念を主たる視点とした場合に、生体機能の日内変動や運動負荷による反応そして運動処方による効果が、生きていく環境に対してどのような適応力を示しているのかを考察することがこの研究における主たる目的でもある。

バイオフィトンを数値化する GDV の特徴は、非侵襲に加え、短時間で測定が可能なことから身体への負担が少なく、容易にデータを蓄積できることである。いわば、多くのデータから生体の状態を把握することができ、その特性が示す内容がシンプルであるといえる。従来の生体情報の評価手法に加えて、GDV から導き出されたバイオフィトンイメージングによる変化をひとつの指標とすることで、疲労度やストレス評価、健康維持・増進、疾病予防といった多様化、個別化する健康管理での新しい指標としての可能性を有していると考えられる。

本研究では、日内における個体変動、運動負荷における反応、長期間の運動処方における効果についてバイオフィトンイメージングを指標として検討した結果、従来の生体情報評価法の結果との間に有意な相関関係が認められた。このことより、バイオフィトンという物理学的評価法を総合的に活かして疲労やストレスと関連する健康分野、医療分野で生体内エネルギーの変化をホールボディとして捉え評価することが可能となりさまざまな処方、療法作成に対する有用性が示された。さらにバイオフィトンイメージングによって数量化された生体内エネルギー指標を、生体全体のエネルギー状態としてとらえることにより、新たな視点から疲労・ストレス低減対策や身体的环境適応能の評価し得ることが示唆された。

#### 引用文献

- 1) 堀輝, 香月あすか, 菅健太郎, 吉村玲児: 客観的なストレス評価方法について, 日本職業・災害医学会誌, 66, 330-334, 2018.
- 2) Korotkov K: Human Energy Field: study with GDV bioelectrography. Fair Lawn: Backbone Publishing Co., 2000.
- 3) 岡部弘高, 甲斐昌一: バイオフィトンと生体情報計測, 光学 39(7), 326-333, 2010.

#### 参考論文

- 1) Tsubouchi S, Uchida H, Yamamoto A, Shimizu N: Fluctuations in Human Bioenergy during the Day as Observed from the Evoked Photon. Health, 10, 1107-1119, 2018.
- 2) Tsubouchi S, Uchida H, Yamamoto A, Shimizu N: Evaluation of bioenergy after exercise using evoked photons - Fluctuation of Human bioenergy by exercise -. Osaka Research Journal of Physical Education, No.57, pp.43-53, 2019.
- 3) Tsubouchi S, Uchida H, Maeba S, Yamamoto A, Shimizu N: The effects of a long-term low-intensity prescription exercise measured using the evoked photon method. Japanese Journal of Health, Fitness and Nutrition, 23(1), 2019 (in press).